

## **Wärmesenke in Form einer Heat-Pipe sowie Verfahren zum Herstellen einer solchen Wärmesenke**

Die Erfindung bezieht sich auf eine Wärmesenke in Form einer Heat-Pipe gemäß Oberbegriff Patentanspruch 1, 3 oder 6 sowie auf ein Verfahren gemäß Oberbegriff Patentanspruch 24.

Eine als flache, plattenförmige Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke ist bekannt (US 3,680,189). Die bekannte Wärmesenke besteht im wesentlichen aus einem quader- oder plattenförmigen Hohlkörper, dessen Innenraum von zwei, die Oberseite bzw. Unterseite bildenden Wänden sowie von einer Umfangswand begrenzt ist. An den Innenflächen der die Oberseite und Unterseite bildenden Wandabschnitte ist jeweils eine kapillare oder poröse Struktur bildende Lage oder Schicht vorgesehen. Durch mehrere im Innenraum des Hohlkörpers angeordnete und räumlich gegeneinander versetzte Pfosten sind diese Lagen an ihren zugehörigen Wänden gehalten. Der Innenraum des Hohlkörpers dient zur Aufnahme eines leicht verdampfenden Wärme transportierenden Mediums. Dieses wird zum Kühlen beispielsweise eines elektrischen, Verlustwärme erzeugenden und an der Heat-Pipe vorgesehenen Bauelementes an einem Verdampfungsbereich, d. h. dort wo sich das Bauelement befindet, verdampft und an einem von diesem Verdampfungsbereich räumlich entfernten Kondensationsbereich, d. h. dort wo die Wärme abgeführt wird, kondensiert und kann dann in den kapillaren Strukturen zurück an den Verdampfungsbereich fließen.

Bekannt ist weiterhin das sogenannte DCB-Verfahren (Direct-Copper-Bond-Technology). Mit diesem z. B. in der US-PS 37 44 120 oder in der DE-PS 23 19 854 beschriebenen Verfahren ist es möglich, Metalle, beispielsweise Kupfer miteinander oder aber Metalle mit Keramik flächig zu verbinden, wobei die Metalle an ihren Oberflächen eine Schicht oder einen Überzug (Aufschmelzschicht) aus einer chemischen Verbindung aus dem Metall und einem reaktiven Gas, bevorzugt

Sauerstoff aufweisen. Diese Aufschmelzschicht bildet ein Eutektikum mit einer Schmelztemperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Metalls (z. B. Kupfer), so daß nach dem Aneinanderfügen der zu verbindenden Materialien diese durch Erhitzen miteinander verbunden werden können, und zwar durch Aufschmelzen der Aufschmelzschicht. Die Prozesstemperatur liegt bei diesem DCB-Prozess zwischen etwa 1025 und 1083° C.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Heat-Pipe aufzuzeigen, die sich durch einen verbesserten Wirkungsgrad auszeichnet. Zur Lösung dieser Aufgabe ist eine Wärmesenke bzw. Heat-Pipe entsprechend dem Patentanspruch 1, 3 oder 6 ausgebildet. Ein Verfahren zur Herstellung der Wärmesenke ist entsprechend dem Patentanspruch 24 ausgebildet.

Eine Besonderheit der Erfindung besteht darin, daß zwischen den beiden, den Innenraum begrenzenden, einander gegenüberliegenden ersten Wandabschnitten oder Wandungen des die Heat-Pipe bildenden Hohlkörpers räumlich voneinander getrennt mehrere Pfosten vorgesehen sind, die unmittelbar mit diesen Wandungen verbunden sind und ebenso wie diese Wandabschnitte aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise aus Metall, z. B. Kupfer bestehen.

Entsprechend weiterer Ausgestaltungen der Erfindung ist der wenigstens eine kapillare oder poröse Bereich (Flüssigkeitsraum) von einer Vielzahl von Partikeln gebildet, die durch Bonden und/oder Sintern miteinander verbunden sind und/oder eine lose Schüttung bilden, und zwar derart, daß sich zwischen den Partikeln hindurch kapillare Strömungswege ergeben. Die Partikel sind dabei bevorzugt solche aus Keramik, beispielsweise aus einer Aluminiumoxid-Keramik, die dann durch Anwendung der DCB-Bond-Technik zu der kapillaren Struktur miteinander, aber auch mit angrenzenden Flächen des Heatpipe-Körpers verbunden sind.

Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche. Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in vereinfachter Darstellung einen Längsschnitt durch eine Wärmesenke in Form einer Heat-Pipe gemäß der Erfindung;

Fig. 2 einen Schnitt entsprechend der Linie I - I der Figur 1;

Fig. 3 und 4 in vergrößerter Darstellung die die poröse Schicht bzw. die Kapillarschicht bildenden Partikel;

Fig. 5 - 6 Schnittdarstellungen ähnlich der Figur 1 von weiteren möglichen Ausführungsformen der Erfindung;

Fig. 7 in vereinfachter Teildarstellung und in Seitenansicht eine weitere Ausführung der Erfindung;

Fig. 8 in vergrößerter Darstellung einen Teilschnitt durch die Wärmesenke der Fig. 7;

Fig. 9 und 10 in vereinfachter Darstellung Querschnitte durch weitere mögliche Ausführungsformen der Erfindung;

Fig. 11 bis 14 jeweils einen Längsschnitt (in Teildarstellung) sowie einen Querschnitt zweier weiterer Ausführungen der Erfindung;

Fig. 15 einen unter Verwendung einer Heat-Pipe hergestellten elektrischen Schaltkreis.

In den Figuren 1 und 2 ist mit 1 allgemein eine als Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke bezeichnet. Diese Wärmesenke 1 ist flach und plattenförmig ausgebildet und besteht hierfür im wesentlichen aus einem flachen, quader- oder plattenförmigen Hohlkörper 1.1, dessen Innenraum 2 an den beiden einander gegenüberliegenden Seiten mit den größeren Flächen durch Wandungen 3 und 4 sowie am Umfang durch eine Umfangswand 5 begrenzt ist. Im Innenraum 2 ist eine Vielzahl von räumlich voneinander beabstandeten Pfosten 6 vorgesehen, die mit ihren Achsen senkrecht zu den Ebenen der Wandungen 3 und 4 liegen und von denen jeder jeweils mit einem Ende unmittelbar mit der Innenfläche der Wandung 3 und mit dem anderen Ende unmittelbar mit der Innenfläche der Wandung 4 verbunden ist.

Die Wandungen 3 und 4 besitzen beispielsweise einen rechteckförmigen oder quadratischen Zuschnitt. Die Pfosten 6 besitzen einen Querschnitt, der jeweils nur ein Bruchteil der Breite sowie Länge des Innenraumes 2 ist, d.h. keiner der Pfosten 6 erstreckt sich über die gesamte Länge oder Breite des Innenraumes 2.

Die Wandungen 3 und 4, die Umfangswand 5 sowie die Pfosten 6 bestehen aus einem Wärme gut leitenden Material, beispielsweise Metall, z.B. aus Kupfer, wobei zum Herstellen der Wärmesenke 1, d. h. zum Verbinden der Wandungen 3 und 4, der Umfangswand 5 und der Pfosten 6 bevorzugt die dem Fachmann bekannte DCB-Technik verwendet ist.

Bei der dargestellten Ausführungsform sind die Innenflächen der Wandungen 3 und 4, teilweise auch die Innenfläche der Umfangswand 5 wie die Pfosten 6 mit einer einen Kapillarraum oder eine Kapillarschicht bildenden porösen Schicht 7 versehen. Diese besteht entsprechend der Figur 3 aus einer Vielzahl von Partikeln 8, die in geeigneter Weise miteinander sowie auch mit der jeweils benachbarten Oberfläche 10 beispielsweise der Wandungen 3 und 4, der Umfangswand 5 und der Pfosten 6 verbunden sind. Die Partikel 8 sind beispielsweise solche aus Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid und/oder Siliziumnitrid die unter Verwendung von Kupfer bzw. Kupferbrücken oder -stege 9 miteinander sowie mit der angrenzenden, die Schicht 7 tragenden Fläche 10 verbunden sind. Die Partikel 8 besitzen beispielsweise eine Korngröße zwischen 0,5 bis 250 µm. Bei der Ausführung der Figur 3 bilden die Partikel 8 zwei Lagen oder Reihen. Es ist aber auch möglich, die Partikel 8 nur einlagig auf der Fläche 10 vorzusehen.

Das Aufbringen der Schicht 7 erfolgt beispielsweise so, daß nach dem Herstellen des Hohlkörpers 1.1 über wenigstens eine Befüllungsöffnung 1.2 in den Innenraum 2 eine Mischung oder Schüttung aus den Partikeln 8 und einem pulverförmigen Kupferoxid eingebracht wird, gegebenenfalls auch mit Zusatz von Kupferpulver. Anschließend erfolgt ein Erhitzen des Hohlkörpers auf eine Temperatur, bei der das Kupfer/Kupferoxid-Eutektikum in Schmelze übergeht, d. h. auf eine Temperatur im

Bereich zwischen 1065 und 1085°C, so daß durch das Aufschmelzen des Kupfer/Kupferoxid-Eutektikums die die Partikel 8 miteinander sowie mit der die Schicht 7 tragenden Fläche 10 verbindenden Kupferbrücken 9 gebildet werden. Durch entsprechendes Bewegen, beispielsweise Schütteln des Hohlkörpers wird erreicht, daß sich die Schicht 7 in der gewünschten Weise an sämtlichen erforderlichen Innenflächen des Hohlraumes 2 ausbildet. Nach dem Abkühlen des Hohlkörpers und damit nach dem Bonden der die Schicht 7 werden die nicht gebondeten Partikel 8 aus dem Innenraum 2 entfernt.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, anstelle einer Mischung aus den Partikeln 8, dem Kupferpulver und dem Kupferoxid-Pulver bereits mit Kupfer beschichtete Partikel 8 zu verwenden, wobei diese die Partikel 8 umschließende Kupferschicht an der Außenfläche oxidiert ist, so daß sich beim Erhitzen auf die Bond-Temperatur von 1065 bis 1085°C wiederum die Kupferbrücken 9 ausbilden.

Vorstehend wurde im Zusammenhang mit der Figur 3 bereits erwähnt, daß die Partikel 8 zur Bildung der Schicht 7 mehrlagig oder mehrreihig auf der Fläche 10 vorgesehen sein können, d.h. die Dicke der Schicht 7 ist dann bei einlagiger Anordnung der Partikeln 8 auf der Fläche 10 etwa gleich der Korngröße dieser Partikel und bei einer mehrlagigen Anordnung gleich oder etwa gleich einem Mehrfachen der Korngröße der Partikel 8.

Die Figur 4 zeigt als weitere mögliche Ausführungsform eine Ausbildung der porösen Schicht 7 in der Weise, daß die Partikel 8 durch DCB-Bonden direkt mit der Fläche 10 verbunden sind, eine Verbindung der Partikel 8 untereinander nicht besteht, d.h. die entsprechenden Kupferstege oder -brücken 9 sind nicht vorhanden. Hierdurch wird durch die poröse Schicht 7 eine Struktur erreicht, in der die Partikel 8 einlagig vorgesehen sind, sich aber zwischen den Partikeln 8 eine sehr ausgeprägte kapillare Struktur ergibt, bei der durch Wahl der Korngröße der Partikel 8 der wirksame Querschnitt der Kapillaren eingestellt werden kann.

Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, die Schicht 7 zu erzeugen, bevor die Wärmesenke 1 bzw. der diese Wärmesenke bildende Hohlkörper verschlossen wird. In diesem Fall wird beispielsweise die obere Wandung 3 erst dann mit der Umfangswand 5 und dem Pfosten 6 verbunden, nachdem die Schicht 7 an der Innenfläche der unteren Wandung 6 und gegebenenfalls auch an einem Teil der Innenfläche der Umfangswand 5 und an einem Teil der Höhe der Pfosten 6 vorgesehen wurde.

Nach dem Fertigstellen der Schicht 7 wird über die Öffnung 1.2 in den Innenraum 2 ein leicht verdampfbares, Wärme transportierendes Medium eingebracht, und anschließend der Innenraum 2 an der Öffnung 1.2 vollständig verschlossen.

In der Figur 1 ist mit 11 ein Verlustwärme erzeugendes elektrisches Leistungsbauteil bezeichnet, welches auf der Oberseite der Wärmesenke 1, d. h. auf der Außenfläche der Wandung 3 vorgesehen ist, und zwar durch eine Schicht 12 aus einem elektrisch isolierenden Material, beispielsweise aus Keramik, elektrisch getrennt von der Wandung 3. Die Schicht 12 weist strukturierte Metallisierungen 12.1 und 12.2 auf, von denen die Metallisierung 12.1 Leiterbahnen, Kontaktflächen usw. bildet und die Metallisierung 12.2 zur Verbindung mit der Wärmesenke dient. Aus Symmetriegründen ist auf der Unterseite der Wärmesenke 1, d. h. auf der Außenfläche der Wandung 4 ebenfalls eine der Schicht 12 entsprechende Schicht mit Metallisierungen flächig aufgebracht, und zwar beide Schichten 12 beispielsweise unter Verwendung der DCB-Technik.

Bei der dargestellten Ausführungsform befindet sich das Bauteil 11 an einer Schmalseite der in Draufsicht rechteckförmigen Wärmesenke 1. An der gegenüberliegenden Schmalseite der Wärmesenke sind an der Oberseite und an der Unterseite Kühler 13 vorgesehen, die beispielsweise jeweils von einem passiven Kühlelement gebildet oder aber aktive Kühler sind, welche von einem Wärme transportierenden Medium durchströmt werden und Bestandteil eines Kühlkreislaufts sind.

Die von dem Bauteil 11 abgegebene Verlustwärme führt im Bereich dieses Bauteils bzw. an dem in der Figur 1 allgemein mit 14 bezeichneten Verdampfungsbereich zu einem Verdampfen des Wärme transportierenden Mediums im Innenraum 2. Im Bereich der Kühler 13, d. h. an dem in der Figur 1 allgemein mit 15 bezeichneten Kondensationsbereich erfolgt durch Abkühlen ein Kondensieren des Wärme transportierenden Mediums, welches dann innerhalb der Schichten 7 wieder in der flüssigen Phase an den Verdampfungsbereich 14 zurückfließt. Hierdurch erfolgt im Inneren der Wärmesenke ein Kreislauf, und zwar in dem von den Schichten 7 nicht eingenommenen Bereich des Innenraumes 2, der (Bereich) auch als Dampfraum oder Dampfkanal bezeichnet werden kann, eine Strömung des verdampften Wärme transportierenden Mediums in Richtung des Pfeils A vom Verdampfungsbereich 14 an den Kondensationsbereich 15 parallel zu den Ebenen der Wandungen 3 und 4 und innerhalb der Schichten 7 bzw. innerhalb des von diesen Schichten gebildeten Kapillarraumes in Richtung der Pfeile B von dem Kondensationsbereich 15 zurück an den Verdampfungsbereich 14, und zwar wiederum parallel zu den Ebenen der Wandungen 3 und 4.

Durch die Pfosten 6, die jeweils unmittelbar mit den Wandungen 3 und 4 verbunden sind, wird eine hohe Festigkeit, insbesondere auch Druckfestigkeit für die Wärmesenke 1 erreicht. Weiterhin wird eine optimale Wärmeübertragung zwischen der Oberseite (Wandung 3) und Unterseite (Wandung 4) und damit eine optimale Arbeitsweise dieser Wärmesenke erreicht.

Die Figur 5 zeigt in vereinfachter Schnittdarstellung eine als Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke 1a, die sich von der Wärmesenke 1 im wesentlichen dadurch unterscheidet, daß anstelle der von den Schichten 7 gebildeten Flüssigkeitskanälen entlang der oberen Wandung 3 sowie der unteren Wandung 4 jeweils ein Flüssigkeitskanal 16 vorgesehen ist, der jeweils durch eine Wandung 17 von den zwischen den beiden Flüssigkeitskanälen 16 bzw. zwischen den beiden Wandungen 17 gebildeten Dampfkanal 18 getrennt ist. Die obere und untere Wandung 3 und 4 sind wiederum unmittelbar mit mehreren, räumlich voneinander getrennten Pfosten 6

miteinander verbunden, die auch durch die Zwischenwände 17 hindurchreichen und sich jeweils mit einer Teillänge innerhalb der beiden Flüssigkeitskanäle 16 erstrecken. Als Material für die Zwischenwände eignet sich ein perforiertes Flachmaterial, beispielsweise eine perforierte Metallplatte oder -folie, beispielsweise eine perforierte Platte oder Folie aus Kupfer. Für die Zwischenwand 17 können aber auch andere Materialien verwendet werden, beispielsweise ein gitterartiges Flachmaterial oder ein Streckmetall-Material bzw. -metall usw.

Die Zwischenwände 17 sind parallel zur oberen und unteren Wandung 3 bzw. 4 und von dieser jeweils beabstandet vorgesehen. Die Flüssigkeitskanäle sind wiederum mit einem porösen, kapillarartig wirkenden Material ausgefüllt, und zwar beispielsweise mit den Partikeln 8 z. B. aus Aluminiumoxid, wobei diese Partikel 8 auch in den Flüssigkeitskanälen 16 über die Kupferstege 9 miteinander sowie mit den Innenflächen des jeweiligen Flüssigkeitskanals 16 verbunden sind, so daß hierdurch auch eine Verbindung zwischen den äußeren Wandungen 3 und 4 und der jeweiligen Zwischenwand 17 zumindest über die an den Pfosten 6 und den Zwischenwänden 17 gebondeten Partikel 8 erreicht ist.

Die Wärmesenke 1a bzw. deren Hohlkörper werden beispielsweise wiederum unter Anwendung der DCB-Technik hergestellt, wobei für die Realisierung der Flüssigkeitskanäle 16 in die diese Kanäle bildenden Ausnehmungen beispielsweise die Mischung aus den Partikeln 8 und Kupferoxidpulver, gegebenenfalls mit zusätzlichem pulverförmigen Kupfer eingebracht und dann auf die Bond-Temperatur im Bereich zwischen 1065 - 1085° erhitzt wird. Überschüssiges, nicht gebondetes Material wird dann wieder entfernt.

Bei der Ausführung der Figur 5 befindet sich das die Verlustwärme erzeugende elektrische Bauelement 11 nicht an einer Schmalseite des wiederum quaderförmig oder als flache Platte ausgebildeten Wärmesenke 1a, sondern etwa in der Mitte dieser Wärmesenke, wobei an beiden Enden der Wärmesenke jeweils den Kühlern 13 entsprechende Kühler vorgesehen sind. Es ergeben sich somit im Inneren der



Wärmesenke 1a zwei Kreisläufe für das Wärme transportierende Medium, und zwar entsprechend den Pfeilen A zwei Dampfströme, die in dem Dampfkanal 18 von dem in der Mitte der Wärmesenke 1a vorgesehenen Verdampfungsbereich 14 jeweils zu einem Ende der Wärmesenke 1a bzw. an jeweils einen Kondensationsbereich 15 verlaufen, und in den Flüssigkeitskanälen 16 die Flüssigkeitsströme entsprechend den Pfeilen B, die von jedem Kondensationsbereichen 15 zurück an den Verdampfungsbereich 14 verlaufen.

Die Figur 6 zeigt eine als flache, plattenförmige Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke 1b, die sich von der Wärmesenke 1a lediglich dadurch unterscheidet, daß der Dampfkanal 18 der Wärmesenke 1a durch einen weiteren, parallel zu der Ober- und Unterseite der Wärmesenke 1b verlaufenden Flüssigkeitskanal 16.1 in zwei Dampfkanäle 18.1 unterteilt ist. Die Pfosten 6 erstrecken sich auch durch diesen zusätzlichen Flüssigkeitskanal 16.1 hindurch. Die beiden Dampfkanäle 18.1 sind dann jeweils durch eine Zwischenwand 17 des benachbarten Dampfkanals 16 und eine Zwischenwand 17.1 des benachbarten Dampfkanals 16.1 begrenzt. Die Zwischenwände 17.1, die wiederum parallel zu der Ebene der oberen Wandung 3 und der unteren Wandung 4 liegen, bestehen ebenfalls aus dem perforierten Flachmaterial.

Die Figur 7 zeigt in einer sehr schematischen Schnittdarstellung eine weitere, als flache Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke 1c, die zwischen der oberen Wandung 3 und der unteren Wandung 4 aus einer Vielzahl von stapelartig aneinander anschließenden und flächig miteinander verbundenen Platten 19 besteht.

Die Platten 19 sind derart strukturiert bzw. perforiert, d. h. mit Öffnungen versehen, daß sich innerhalb von den Platten 19 gebildeten Volumens der Wärmesenke 1c durch die Öffnungen 20 der Platten hindurch eine Vielzahl von Strömungswegen ergibt. Weiterhin sind die Platten 19 so strukturiert, daß sich die Platten 19 in Bereichen außerhalb der Öffnungen 20 zu durchgehenden Pfosten 6 ergänzen, die sich wiederum zwischen der oberen Wandung 3 und der unteren Wandung 4 erstrecken. Die Platten 19 sind solche aus einem Wärme gut leitenden Material, beispielsweise aus Metall und

dabei z. B. aus Kupfer. Die Platten 19 sind mit Hilfe der DCB-Technik oder mit einem Lötverfahren flächig miteinander verbunden.

Geeignete Strukturierungen für die Platten 19 sind z. B. in der DE 197 10 783 A1 beschrieben. Die Öffnungen 20 bzw. die von diesen Öffnungen gebildeten Strömungskanäle sind bei der in der Figur 7 dargestellten Ausführungsform in einem der oberen Wandung 3 und in einem der unteren Wandung 4 benachbarten Bereich 21 jeweils mit dem kapillaren Material ausgefüllt, welches beispielsweise wiederum von den über die Kupferstege 9 miteinander sowie mit angrenzenden Flächen der Platten 19 verbundenen Partikeln 8 gebildet ist. Die Bereiche 21 bilden dann die Flüssigkeitskanäle für das Wärme transportierende Medium. In einem mittleren Bereich 22 bilden die Öffnungen 20 der dortigen Platten 19 ohne die Partikel 8 einen Dampfkanal für das verdampfte, Wärme transportierende Medium.

Durch die Öffnungen 20 bzw. durch die von diesen Öffnungen erzeugte Strukturierung bilden die Platten 19 nicht nur die durchgehenden Pfosten 6, sondern auch zwischen diesen Pfosten sich erstreckende Stege 19.1 innerhalb der Flüssigkeitskanäle für das Wärme transportierende Medium, wobei beispielsweise die jeweils von einer Platte 19 gebildeten Stege 19.1 Öffnungen 20 in benachbarten Platten 19 gegenüberliegen, wie dies in der Figur 8 schematisch dargestellt ist. In dieser Figur ist mit 7 wiederum die poröse oder kapillare Schicht beispielsweise aus den Partikeln 8 angegeben. Diese Schicht bedeckt bei dieser Ausführungsform in den Bereichen 21 bzw. an den dortigen Platten 19 sämtliche in den Flüssigkeitskanälen freiliegenden Flächen.

Es versteht sich, daß in Abwandlung der Wärmesenke 1c auch mehrere Flüssigkeitskanäle bildende Bereiche 21 vorgesehen sein können, und zwar jeweils abwechselnd mit einem einen Dampfkanal bildenden Bereich 22.

Die Figur 9 zeigt in einem Querschnitt senkrecht zur Strömungs- bzw. Fließrichtung des Wärme transportierenden Mediums eine Wärmesenke 1d. Diese besteht aus zwei Platten 23 und 24 aus einem Wärme gut leitenden Material, beispielsweise aus Kupfer,

die an einer Oberflächenseite flächig miteinander verbunden sind. In jeder Platte ist eine muldenförmige Vertiefung oder Ausnehmung 25 eingebracht. Beide Ausnehmungen 25 ergänzen sich bei miteinander verbundenen Platten 23 und 24 zu einem geschlossenen, lang gestreckten Kanal 26 innerhalb des von den Platten 23 und 24 gebildeten Körpers der Wärmesenke 1d. Die Innenflächen des Kanals 26 sind mit der kapillaren Schicht 7 versehen, so daß sich innerhalb dieser Schicht der Flüssigkeitskanal und in dem von der Schicht 7 nicht eingenommenen Raum des Kanals 26 der Dampfkanal ergeben.

Die Figur 10 zeigt als Abwandlung der Figur 9 eine als flache Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke 1e, bei der wiederum die Platte 24 mit der Ausnehmung 25 verwendet ist, anstelle der Platte 23 aber eine Platte 27 ohne Ausnehmung. Die Platte 27 ist mit der die Ausnehmung 25 aufweisenden Seite der Platte 24 flächig verbunden, so daß sich der dem Kanal 26 entsprechende geschlossene Kanal 28 ergibt. Flächen der Ausnehmung 25 sind wiederum mit der Schicht 7 versehen. Die Platte 27 ist beispielsweise eine Metallplatte, z.B. eine Kupferplatte oder Kupferfolie. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, die Platte 27 aus einem elektrisch isolierenden Material zu fertigen, beispielsweise aus Keramik, z. B. aus einer Aluminiumoxid- oder Aluminiumnitrid-Keramik.

Das zu kühlende Bauelement 11 ist bei den Wärmesenken 1d und 1e jeweils an einem dem Kanal 26 bzw. 28 unmittelbar benachbarten Bereich der Außenfläche der Wärmesenke vorgesehen, und zwar wiederum gegenüber dem Körper der Wärmesenke 1d bzw. 1e elektrisch isoliert auf der mit den elektrischen Kontaktflächen versehenen Isolierschicht 12.

Ist bei der Wärmesenke 1e die Platte 27 aus einem elektrisch isolierenden Material, nämlich aus Keramik gefertigt, so können die Leiterbahnen und/oder Kontaktflächen für das Bauteil 11 unmittelbar auf der dem Kanal 28 abgewandten Oberflächenseite der Platte 27 vorgesehen werden.

Die Figuren 11 und 12 zeigen als weitere mögliche Ausführungsform eine als Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke, deren Hohlkörper von einem beidendig verschlossenen Rohrstück 29 besteht, welches aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise aus Kupfer gefertigt ist. Bei der dargestellten Ausführungsform besitzt das Rohrstück 29 einen kreiszylinderförmigen Innen- und Außenquerschnitt. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, die Wärmesenke 1f flach auszubilden, und zwar durch entsprechendes Flachdrücken des Rohrstückes 29 in einen ovalen Querschnitt.

An der Innenfläche des Rohrstückes 29 ist die poröse bzw. kapillare Schicht 7 ausgebildet. Die Herstellung erfolgt dabei in der Weise, daß in das Rohrstück 29 das die Schicht 7 bildende Material eingebracht wird, beispielsweise die Mischung bestehend aus den Partikeln 8 und pulverförmigem Kupferoxid und Kupfer. Das die Schicht 7 bildende Material wird dabei so eingebracht, daß es eine ring- oder hohlzylinderförmige, gegen die Innenfläche des Rohrstückes 29 anliegende erste Schüttung bildet. Weiter innen liegend und bei dieser Ausführung von der ersten Schüttung umgeben ist Stützmedium 30, beispielsweise in Form einer zweiten Schüttung aus einem geeigneten, partikelartigen Material vorgesehen, beispielsweise aus Partikeln aus Keramik ohne den Zusatz von Kupferoxid sowie Kupfer.

Nach dem Erhitzen der Anordnung auf die Bond-Temperatur und nach dem anschließenden Abkühlen sind lediglich die Partikel 8 der ersten Schüttung durch die Kupferbrücken oder Kupferstege 9 mit der Innenfläche des Rohrstückes 29 sowie miteinander zu der porösen Schicht 7 verbunden, während die Partikel, die die zweite Schüttung bzw. das Stützmedium 30 bilden, nach dem Bonden entfernt werden können.

Die Figuren 13 und 14 zeigen als weitere mögliche Ausführungsform eine als Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke 1g. Auch bei dieser Wärmesenke 1g ist der Hohlkörper wiederum von dem beidendig verschlossenen Rohrstück 29 aus dem Wärme gut leitenden Material, beispielsweise aus Kupfer gebildet. In dem Rohrstück 29 ist ein

weiteres Rohrstück 31 aus einem perforierten oder siebartigen Material vorgesehen, und zwar derart, daß sich zwischen der Außenfläche des Rohrstückes 31 und der Innenfläche des Rohrstückes 29 ein Ringraum 32 ergibt. Dieser bildet bei dieser Wärmesenke 1g den Flüssigkeitskanal. Der Innenraum des Rohrstückes 31 bildet den Dampfkanal. Der Ringraum 32 ist mit einer Schüttung aus den Partikeln 8 und/oder aus entsprechenden, eine kapillare Struktur bildenden Partikeln ausgefüllt, die dann entweder durch Bonden oder Sintern miteinander sowie ggf. auch mit der Innenfläche des Rohrstückes 29 und der Außenfläche des Rohrstückes 31 verbunden sind, und zwar beispielsweise wieder über die Kupferstege 9 oder aber über entsprechende Metall- oder Kupferstege. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, daß der Ringraum 32 die poröse bzw. kapillarartige Struktur bildenden Partikel als lose Schüttung enthält. Das Rohrstück 31 ist beispielsweise perforiert, d.h. mit einer Vielzahl von Öffnungen versehen oder aber aus einem perforierten Flachmaterial hergestellt, und zwar aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise aus Metall, z.B. aus Kupfer. Auch andere Materialien sind für das Rohrstück 31 denkbar, beispielsweise auch gitterartige, geweartige Materialien oder Streckmetalle. Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, das Rohrstück 31 lediglich als Stützkörper während der Fertigung, d.h. beim Bonden der im Ringraum 32 aufgenommenen Partikel 8 zu verwenden und nach dem Bonden wieder zu entfernen.

Die Figur 15 zeigt in vereinfachter Darstellung die Verwendung der erfindungsgemäßen Wärmesenke bzw. Heat-Pipe bei einer elektrischen Schaltung. Die Wärmesenke ist in der Figur 15 mit 1 bezeichnet. Es versteht sich, daß bei dieser Anwendung auch jede andere Wärmesenke gemäß der Erfindung Verwendung finden kann, beispielsweise auch eine der Wärmesenken 1a - 1g.

Auf der Oberseite der flachen Wärmesenke 1 ist als Basis für die elektrischen Bauelemente, die in dieser Figur mit 11 und 11.1 bezeichnet sind, ein Kupfer-Keramik-Substrat 33 aufgebracht. Dieses besteht aus einer Keramikschicht 34, die beidseitig mit jeweils einer Kupferschicht bzw. Kupferfolie 35 und 36 versehen ist, und zwar vorzugsweise unter Anwendung der DCB-Technik. Mit der Kupferschicht 36 ist das

Substrat 33 flächig mit der Oberseite der Wärmesenke 1 verbunden, beispielsweise durch Auflöten oder auf eine andere geeignete Weise. Die der Wärmesenke 1 abgewandte Kupferschicht 35 ist zur Bildung von Leiterbahnen, Kontaktflächen usw. strukturiert. Auf durch diese Strukturierung gebildeten Flächen sind die Bauelemente 11 und 11.1 befestigt, beispielsweise aufgelötet, wobei das Bauelement 11 ein Leistungsbauelement ist und die Bauelemente 11.1 beispielsweise ansteuernde Bauelemente sind.

Bei der Ausführung der Figur 15 befindet sich das Substrat 33 mit den Bauelementen 11 und 11.1 im Bereich einer Schmalseite der langgestreckten Wärmesenke 1. Im Bereich der anderen Schmalseite sind die Kühler 13 vorgesehen. Aus Gründen der Symmetrie und zur Vermeidung eines Bimetall-Effektes bzw. einer Verformung der Anordnung bei Temperaturänderungen ist auch auf der Unterseite der Wärmesenke 1 ein dem Substrat 33 entsprechendes Substrat 33.1 aufgebracht, allerdings ohne die Bauelemente 11 und 11.1.

Die Erfindung wurde voranstehend an mehreren Ausführungsbeispielen beschrieben. Es versteht sich, daß weitere Änderungen sowie Abwandlungen möglich sind, ohne daß dadurch der der Erfindung tragende Gedanke verlassen wird. So ist es beispielsweise möglich, Bauelemente auf beiden Seiten der flachen bzw. plattenförmigen Wärmesenke vorzusehen, z. B. bei der Ausführung der Figur 15 auch auf dem weiteren Substrat 33.1.

Weiterhin ist es möglich, für die Herstellung der porösen, kapillaren Struktur auch andere Materialien zu verwenden, beispielsweise Partikel aus einer anderen Keramik oder aus einem anderen geeigneten Material, z. B. Siliziumoxid. Weiterhin ist es auch möglich, diese Strukturen z. B. durch Sintern eines geeigneten Materials, beispielsweise auch eines geeigneten Metalls zu fertigen.

Abweichend von der im Zusammenhang mit den Figuren 11 und 12 beschriebenen Herstellungsmethode ist es auch möglich, bei der Herstellung der Wärmesenke 1f in

das beispielsweise zumindest an der Innenfläche oxidierte Rohrstück 29 aus Metall, beispielsweise aus Kupfer, die Partikel 8 aus Keramik oder einen anderen Hitze beständigen Material als eine den Innenraum des Rohrstückes 29 vollständig ausfüllende Schüttung einzubringen und dann die Anordnung auf die Bonde-Temperatur im Bereich zwischen 1065 - 1085°C zu erhitzen und die Anordnung anschließend abzukühlen. Die außenliegenden, d.h. gegen die Innenfläche des Rohrstückes anliegenden Partikel sind dann mit der Innenfläche des Rohrstückes 29 verbunden. Der Rest der Schüttung kann dann aus dem Rohrstück 29 entfernt werden, so daß sich eine poröse, kapillarartige Struktur in Form einer einlagigen Schicht 7 ausgebildet hat.

Weiterhin wurde vorstehend bei der Darstellung der Figur 8 davon ausgegangen, daß bei der Wärmesenke 1c die die Strömungskanäle bildenden Öffnungen jeweils nur teilweise mit der porösen bzw. kapillaren Schicht 7 oder den diese Schicht bildenden Partikeln 8 ausgefüllt sind. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Öffnungen bzw. die von diesen gebildeten Strömungskanäle in den Bereichen 21 vollständig mit den Partikeln 8 auszufüllen.

### Bezugszeichenliste

1 - 1g	Wärmesenke bzw. Heat-Pipe
1.1	Hohlkörper
1.2	Öffnung
2	Innenraum
3, 4	obere und untere Wandung der flachen Heat-Pipe
5	Umfangswand
6	Pfosten
7	poröse bzw. kapillare Schicht
8	Partikel
9	Kupfersteg
10	Fläche
11, 11.1	Bauteil bzw. Bauelement
12	Isolierschicht mit strukturierter Metallisierung
12.1, 12.2	Metallisierung
13	Kühler
14	Verdampfungsbereich
15	Kondensationsbereich
16	Flüssigkeitskanal
17, 17.1	Zwischenwand
18, 18a	Dampfkanal
19	Platte bzw. Folie
20	Öffnung
21, 22	Bereich der Wärmesenke 1c
23, 24	Platte
25	Ausnehmung
26	Kanal
27	Platte
28	Kanal



29	Rohrstück
30	Stützmedium
31	Rohrstück
32	Ringraum
33, 33.1	Metall-Keramik-Substrat, beispielsweise Kupfer-Keramik-Substrat
34	Keramikschiicht
35, 36	Metallschicht, beispielsweise Kupferschicht

### Patentansprüche

1. Als flache Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke mit wenigstens einem in einem Körper der Wärmesenke ausgebildeten, nach außen verschlossenen Innenraum mit wenigstens einem Dampfkanal oder Dampfraum (18, 18.1), mit wenigstens einem mit dem Dampfkanal (18, 18.1) in Verbindung stehenden und von einer porösen oder kapillaren Struktur gebildeten Flüssigkeitsraum oder Flüssigkeitskanal (16) sowie mit mehreren durch den Innenraum hindurchreichende und sich zwischen zwei einander gegenüber liegenden, den Innenraum begrenzenden Wandungen oder Wandabschnitten erstreckende räumlich voneinander getrennte Pfosten (6), wobei die Pfosten (6) sowie die einander gegenüberliegenden Wandabschnitte (3, 4) jeweils aus einem Material hoher Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise aus Metall, z.B. aus Kupfer bestehen, **dadurch gekennzeichnet**, daß jeder Pfosten (6) beidseitig unmittelbar mit einem der einander gegenüberliegenden Wandabschnitte (3, 4) verbunden ist.
2. Wärmesenke nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die kapillare bzw. poröse Struktur aus Partikeln (8) besteht, die durch Bonden oder Sintern derart miteinander und/oder mit einer benachbarten Fläche (10) verbunden sind, daß sich zwischen den Partikeln (8) kapillare Strömungswege ergeben.
3. Als Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke mit wenigstens einem in einem Körper der Wärmesenke ausgebildeten, nach außen verschlossenen Innenraum mit wenigstens einem Dampfkanal oder Dampfraum (18, 18.1), mit wenigstens einem mit dem Dampfkanal (18, 18.1) in Verbindung stehenden und von einer porösen oder kapillaren Struktur gebildeten Flüssigkeitsraum oder Flüssigkeitskanal (16), dadurch gekennzeichnet, daß die kapillare bzw. poröse Struktur aus Partikeln (8) aus Keramik besteht, die durch Bonden oder Sintern derart miteinander und/oder mit einer benachbarten Fläche (10) verbunden sind, daß sich zwischen den Partikeln (8)

kapillare Strömungswege ergeben.

4. Wärmesenke nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch mehrere durch den Innenraum hindurchreichende und sich zwischen zwei einander gegenüber liegenden, den Innenraum begrenzenden Wandungen oder Wandabschnitten erstreckende räumlich voneinander getrennte Pfosten (6), wobei die Pfosten (6) sowie die einander gegenüberliegenden Wandabschnitte (3, 4) jeweils aus einem Material hoher Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise aus Metall, z.B. aus Kupfer bestehen, und wobei jeder Pfosten (6) beidendig unmittelbar mit einem der einander gegenüberliegenden Wandabschnitte (3, 4) verbunden ist.
5. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Partikel über Metallbrücken, beispielsweise Kupferbrücken (9) miteinander verbunden sind, beispielsweise über durch DCB-Bonden hergestellte Kupferbrücken.
6. Als Heat-Pipe ausgebildete Wärmesenke mit wenigstens einem in einem Körper der Wärmesenke ausgebildeten, nach außen verschlossenen Innenraum mit wenigstens einen Dampfkanal oder Dampfraum, mit wenigstens einem mit dem Dampfkanal in Verbindung stehenden und von einer porösen oder kapillaren Struktur gebildeten Flüssigkeitsraum oder Flüssigkeitskanal, **dadurch gekennzeichnet**, daß die kapillare bzw. poröse Struktur zumindest in einem Teilbereich von einer losen Schüttung aus Partikeln (8) in einem Raum (32) gebildet ist, der durch eine Zwischenwand (31) vom Flüssigkeitsraum getrennt ist.
7. Wärmesenke nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenwand (31) eine Vielzahl von Öffnungen aufweist.
8. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Partikel solche aus Metall und/oder Keramik sind.

9. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die kapillare Struktur von wenigstens einer Lage oder Schicht (7) gebildet ist, die zumindest an einem Teil der Innenfläche (10) der den wenigstens einen Innenraum (2) begrenzenden Wandabschnitten aufgebracht ist, und zwar die Pfosten (6) an ihren jeweiligen Verbindungsbereichen mit diesen Wandabschnitten (3, 4) umschließend.
10. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die die kapillare Struktur bildende Schicht zumindest auf einen Teilbereich der Oberfläche der Pfosten (6) aufgebracht ist.
11. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Pfosten (6) einen Querschnitt aufweisen, der in jeder Querschnittsrichtung wesentlich kleiner ist als die Abmessung des Innenraumes in dieser Querschnittsrichtung.
12. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Dampfraum (18, 18.1) und der den wenigstens einen Flüssigkeitskanal bildenden kapillaren Struktur eine Zwischenwand (17, 17.1, 29) vorgesehen ist.
13. Wärmesenke nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenwand (17, 17.1, 29) mit einer Vielzahl von Öffnungen versehen ist bzw. aus einem perforierten Material besteht.
14. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die wenigstens eine Zwischenwand (17, 17.1) parallel zu den ersten Wandabschnitten (3, 4) liegt.
15. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenwand von einem Rohrstück (29), vorzugsweise von einem flach

gedrückten bzw. in einen ovalen Querschnitt verformten Rohrstück gebildet ist.

16. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei jeweils einen Flüssigkeitskanal (16) bildende kapillare Strukturen und/oder wenigstens zwei Dampfkanäle (18, 18.1) vorgesehen sind.

17. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und zweite Wandabschnitt jeweils von plattenförmigen Wandungen (3, 4) gebildet sind, die zusammen mit einer Umfangswand (5) den Innenraum der Wärmesenke begrenzen.

18. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Wandabschnitte von Bereichen eines den Innenraum der Wärmesenke begrenzenden, vorzugsweise flach gedrückten Rohrstückes sind.

19. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus mehreren, stapelartig übereinander angeordneten und miteinander flächig verbundenen Platten (3, 4, 19) besteht, von denen im Stapel innen liegende Platten mit Öffnungen (20) derart versehen sind, daß durch diese Öffnungen hindurch eine den Innenraum der Wärmesenke bildende Kanalstruktur erhalten ist und sich die strukturierten Platten (19) mit Bereichen außerhalb der Öffnungen (20) zu den durchgehenden Pfosten (6) ergänzen, und daß zumindest in einem Bereich (21) der Kanalstruktur ein die kapillare Struktur bildendes Material eingebracht ist.

20. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Innenraum (26, 28) von wenigstens einer Vertiefung oder Ausnehmung (25) in einer die Wärmesenke bildenden Platte (23, 24) gebildet ist.

21. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die die kapillare Schicht oder Struktur (7) bildenden Partikel (8) einlagig an der betreffenden Fläche (10) der den Innenraum begrenzenden Wandung vorgesehen

sind.

22. Wärmesenke nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Partikel (8) direkt mit der jeweiligen Fläche (10) verbunden sind, beispielsweise durch DCB-Bonden.

23. Wärmesenke nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper der Wärmesenke von einem beidseitig verschlossenen Rohrstück (29) gebildet ist.

24. Verfahren zum Herstellen einer als Heat-Pipe ausgebildeten Wärmesenke mit wenigstens einem in einem geschlossenen Innenraum ausgebildeten Dampfkanal und mit wenigstens einem Flüssigkeitskanal mit einer porösen oder kapillaren Struktur, **dadurch gekennzeichnet**, daß die poröse oder kapillare Struktur durch Einbringen einer Schüttung aus Partikeln aus einem hitzebeständigen Material, beispielsweise Keramikpartikeln (8) sowie durch anschließendes DCB-Bonden bei Erhitzen auf eine Bond-Temperatur im Bereich zwischen 1 065 bis 1085°C erzeugt wird.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse oder kapillare Struktur durch Einbringen einer Mischung oder Schüttung aus Partikeln aus dem hitzebeständigen Material und pulverförmigem Kupferoxid oder oxidierten Kupfer-Partikeln sowie durch anschließendes DCB-Bonden erzeugt wird.

26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Schüttung oder Mischung zusätzlich auch Kupferpartikel enthält.

27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Bonden und Abkühlen der überschüssige, nicht gebondete Anteil der

Schüttung oder Mischung entfernt wird.

28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die kapillare oder poröse Struktur oder Schicht vor dem Verschließen des Innenraumes der Wärmesenke erzeugt wird.

29. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die die kapillare Struktur bildende Schüttung oder Mischung durch wenigstens eine Öffnung in den Innenraum eingebracht und dort vor dem Bonden verteilt wird, beispielsweise durch Schütteln, Vibration und/oder Wenden.

30. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Herstellen der porösen oder kapillaren Struktur zumindest eine einen Dampfraum bildender Teil des Innenraums der Wärmesenke vor dem Bonden der die poröse oder kapillare Struktur bildenden Partikeln durch ein Stützmedium (30, 31) ausgefüllt oder freigehalten wird.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß das Stützmedium (30) nach dem Bonden bzw. nach der Herstellung der porösen oder kapillaren Struktur entfernt wird.

32. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, daß das Stützmedium (31) in der Wärmesenke verbleibt.

33. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Stützmedium (30) ein partikelartiges Medium ist, beispielsweise aus Partikeln aus dem Hitze beständigem Material ohne das Bond-Material besteht.

34. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Stützmedium von einer Wand (31), beispielsweise von einer dieser Wand

bildenden Rohrstück gebildet ist.



### **Zusammenfassung**

Bei einer als Heat-Pipe ausgebildeten Wärmesenke, sind in einem Körper der Wärmesenke ein nach außen hin verschlossener Innenraum mit wenigstens einem Dampfkanal oder Dampfraum und wenigstens ein mit dem Dampfkanal in Verbindung stehender und von einer porösen oder kapillaren Struktur gebildeter Flüssigkeitsraum vorgesehen.